

## ФОРМИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛАВНЫХ МЕХАНИЗМОВ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

**Р. Ш. Набиуллин<sup>1</sup>,**

*доцент, канд. техн. наук*

**А. П. Комиссаров<sup>1,2</sup>,**

*профессор, д-р техн. наук*

<sup>1</sup>Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

<sup>2</sup>Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург

**Аннотация.** В работе предложена методика обоснования рабочей характеристики карьерных электромеханических (мехлопат) и гидравлических экскаваторов на основе имитационных моделей рабочего процесса экскаваторов. Рабочая характеристика позволит оценить влияние конкретных горнотехнических условий эксплуатации на эффективность функционирования экскаватора.

**Ключевые слова:** карьерные экскаваторы, режимные параметры главных механизмов, рабочая характеристика.

## FORMATION OF OPERATING CHARACTERISTICS FOR MAIN MECHANISMS OF MINING EXCAVATORS

**Abstract.** The paper proposes a method for justifying the operating characteristics of mining electromechanical (mechanized shovels) and hydraulic excavators on the basis of simulation models of the excavator working process. The operating characteristic will allow assessing the effect of specific mining and technical operating conditions on the efficiency of the excavator.

**Keywords:** mining excavators, operating parameters of main mechanisms, operating characteristics.

Оценка качества экскавационного оборудования производится по расчетным показателям, приводимым в технических характеристиках машин. Однако такая оценка имеет значимость на стадии технико-экономического анализа и обоснования параметров модификаций базовой модели или при сравнении различных типов выемочно-погрузочного оборудования. В конкретных условиях эксплуатации значения показателей (продолжительность рабочего цикла, производительность и др.) изменяются в широком диапазоне и значительно отличаются от расчетных величин. Вместе с тем степень влияния горнотехнических условий разработок на эффективность функционирования экскавационного оборудования зависит также и от типа рабочего оборудования, конструктивной и силовой схемы машины и т. д.

Достоверная и полная информация о технических возможностях оборудования в условиях эксплуатации может быть получена на основе анализа результатов вычислительного эксперимента по определению параметров процесса экскавации пород при отработке конкретного забоя.

В общем случае работа экскаваторного оборудования и режимные параметры главных меха-

низмов существенно зависят от структурных особенностей горного массива, физико-механических свойств пород, качества предварительного рыхления (взрывания) массива, высоты уступа (развала породы) и других факторов. Определение значений режимных параметров главных (копающих) механизмов и показателей технической характеристики производится для расчетных (заданных) положений рабочего оборудования, заданного варианта комбинаций действующих нагрузок и т. п.

В работе представлена методика формирования рабочей характеристики карьерных электромеханических экскаваторов (мехлопат) типа ЭКГ и гидравлических экскаваторов типа ЭГ на основе имитационных моделей рабочего процесса экскаваторов [1; 2].

Электромеханические экскаваторы (мехлопаты) отличаются сложной структурой передаточного механизма, включающего главные (копающие) механизмы и механизм рабочего оборудования. Поскольку ковш является ведущим звеном, определяющим характер движения звеньев всех механизмов, то кинематические и силовые параметры, реализуемые на ковше, формируют и режимные параметры главных механизмов.

На основе разработанной имитационной модели получены выражения для определения режимных параметров механизмов подъема и напора в зависимости от параметров, реализуемых на ковше, в пределах рабочей зоны экскаватора.

В табл. 1 приведены значения режимных параметров главных механизмов (скоростей подъема  $V_n$  и напора  $V_n$ , усилий подъема  $F_n$  и напора  $F_n$ , мощностей усилия подъема  $P_n$  и усилия напора  $P_n$ ) при перемещении ковша (вершины режущей кромки — точки К) по эквидистантным траекториям А, Б и В.

Приведенные расчетные данные позволяют оценить влияние горнотехнических условий эксплуатации на эффективность функционирования экскаватора: работа в забое с высотой уступа, равной максимальной высоте копания  $H_{к.макс}$ ; узкая ширина заходки, соответствующая траекториям А и Б.

При перемещении ковша на максимальную высоту копания значение толщины срезаемого слоя породы, определяемое из условия наполнения

ковша, уменьшается по сравнению с толщиной слоя породы (максимальной) при расчетной высоте копания, равной высоте оси напорного вала  $H_n$  [3]. Соответственно, в этом случае уменьшается сила сопротивления породы копанию (касательная составляющая  $F_c^*$ ).

Можно предположить, что при этом уменьшаются усилия подъема и напора. Однако, как показывают расчеты (табл. 1 и 2, траектории Б), усилия подъема практически остаются на прежнем уровне (примерно равны суммарной силе тяжести груженого ковша и рукояти), а усилие напора значительно (в два раза) возрастает.

В целом при перемещении ковша по средней траектории Б энергозатраты составят при расчетной высоте копания  $A_{расч} = 10$  МДж и при максимальной высоте  $A_{max} = 13$  МДж. Таким образом, при копании в высоких забоях увеличивается время копания и возрастают энергозатраты.

Для оценки влияния ширины заходки на эффективность процесса экскавации определены

Таблица 1

Режимные параметры главных механизмов экскаватора ЭКГ-20 (при расчетной высоте копания)

№	Исходные данные			Расчетные данные					
	$X_k$ , м	$Y_k$ , м	$G_{к+п}$ , кН	$V_n$ , м/с	$V_n$ , м/с	$F_n$ , кН	$F_n$ , кН	$P_n$ , кВт	$P_n$ , кВт
Начальная траектория (А)									
1	9	0	400	0,95	–0,87	440	–580	415	505
2	10,15	2	450	0,91	–0,81	510	–580	465	465
3	11,3	4	500	0,84	–0,70	570	–590	480	410
4	12,45	6	550	0,70	–0,51	690	–580	480	295
5	13,6	8	600	0,52	–0,19	920	–580	480	115
6	14,75	10	650	0,50	0,19	1240	–670	625	125
7	15,9	12	700	0,66	0,50	1590	–840	1040	420
Средняя траектория (Б)									
11	13,5	0	400	0,88	–0,64	770	–230	675	145
12	14,65	2	450	0,83	–0,51	810	–240	670	120
13	15,8	4	500	0,76	–0,34	850	–230	646	77
14	16,95	6	550	0,70	–0,12	890	–200	626	24
15	18,1	8	600	0,66	0,11	960	–120	637	13
16	19,25	10	650	0,65	0,32	1020	2	663	1
17	20,4	12	700	0,62	0,50	1080	200	669	101
Крайняя траектория (В)									
21	18	0	400	0,79	–0,39	1020	110	800	44
22	19,15	2	450	0,73	–0,25	1060	150	774	38
23	20,3	4	500	0,68	–0,09	1100	210	740	20
24	21,45	6	550	0,61	0,07	1150	320	700	24
25	22,6	8	600	0,53	0,23	1210	480	644	113
26	23,75	10	650	0,42	0,38	1290	710	546	269
27	24,9	12	700	0,27	0,50	1420	1030	377	515

Таблица 2

Режимные параметры главных механизмов экскаватора ЭКГ-20 (при максимальной высоте копания)

№	Исходные данные			Расчетные данные					
	$X_k$ , м	$Y_k$ , м	$G_{к+п}$ , кН	$V_p$ , м/с	$V_n$ , м/с	$F_p$ , кН	$F_n$ , кН	$P_p$ , кВт	$P_n$ , кВт
Начальная траектория (А)									
1	9	0	400	0,95	–0,87	290	–630	275	550
2	10,15	2	435	0,92	–0,81	350	–620	320	505
3	11,3	4	470	0,84	–0,70	420	–605	350	420
4	12,45	6	500	0,70	–0,51	520	–580	360	290
5	13,6	8	540	0,52	–0,19	700	–555	370	110
6	14,75	10	575	0,50	0,19	975	–590	490	110
7	15,9	12	610	0,66	0,50	1270	–700	835	350
8	17,05	14	650	0,80	0,70	1560	–850	1245	590
9	18,2	16	680	0,89	0,81	1810	–1005	1600	810
10	18,8	17	700	0,91	0,84	1910	–1060	1740	890
Средняя траектория (Б)									
11	13,5	0	400	0,88	–0,64	610	–310	530	200
12	14,65	2	435	0,83	–0,51	640	–300	530	150
13	15,8	4	470	0,76	–0,34	680	–280	515	95
14	16,95	6	500	0,70	–0,12	710	–230	500	30
15	18,1	8	540	0,66	0,11	780	–155	515	20
16	19,25	10	575	0,65	0,32	830	–40	540	10
17	20,4	12	610	0,62	0,50	885	140	550	70
18	21,55	14	650	0,50	0,63	930	420	470	265
19	22,7	16	680	0,22	0,72	1015	845	220	610
20	23,3	17	700	0,02	0,76	1125	1130	20	860

энергозатраты при перемещении ковша по траекториям А, Б и В, соответствующим границам узкой заходки (А и Б) и нормальной заходки (А и В), а также суммарные энергозатраты при отработке забоя при узкой и нормальной заходкам.

Относительные значения суммарных энергозатрат (отнесенные к ширине заходки) составили при узкой заходке  $A_{\Sigma, уз} = 44$  МДж/м и при нормальной заходке  $A_{\Sigma, н.з} = 42$  МДж/м. Следовательно, величина энергозатрат практически не зависит от ширины заходки.

В гидравлических экскаваторах главным (копальным) механизмом является механизм поворота ковша, в состав которого входит и гидродвигатель (гидроцилиндр). В этом случае расчетные значения усилия на режущей кромке ковша  $F_k$  определяются видом силовой передаточной функции [2] меха-

низма поворота ковша  $\Phi_F = F_k / F_{цк}$ , где  $F_{цк}$  — усилие на штоке гидроцилиндра.

Рабочая характеристика гидравлического экскаватора определяет фактические области рабочей зоны, в которых реализуются усилия на режущей кромке ковша из условия несрабатывания предохранительного клапана при действии реактивных усилий с учетом передаточных функций рабочих механизмов.

Предложенная методика формирования рабочей характеристики мехлопаты позволяет оценить степень влияния конкретных условий эксплуатации на показатели функционирования экскаватора. Формирование рабочей характеристики гидравлического экскаватора на основе передаточных функций рабочих механизмов позволит повысить качество управления рабочим процессом.

### Список литературы

1. Гафурьянов Р.Г., Комиссаров А.П., Шестаков В.С. Моделирование рабочего процесса карьерных экскаваторов // Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 6. С. 40–45.
2. Комиссаров А.П., Шестаков В.С. Имитационная модель функционирования рабочего оборудования гидравлического экскаватора // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 8. С. 20–24.
3. Подэрни Р.Ю. Механическое оборудование карьеров. М. : Изд-во МГГУ, 2007. 680 с.